

Mehr Kapazität beim japanischen Shinkansen mittels dynamischem Flügeln

Tilo Schumann

DLR Institut für Verkehrssystemtechnik

Kolloquium Verkehrsmanagement und -telematik

TU Dresden

12.07.2017



Knowledge for Tomorrow

Übersicht

- Vorstellung DLR und Institut
- Next Generation Train Projekt
- Flügelung von Zügen
- Dynamisches Flügeln
- Simulationstool
- Shinkansen-Szenarien



Das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. in der Helmholtz-Gemeinschaft



Forschungseinrichtung

- Luftfahrt
- Raumfahrt
- Energie
- Verkehr
- Sicherheit

Ca. 8.000 Mitarbeiter/innen in
33 Instituten und Einrichtungen
in 16 Standorten

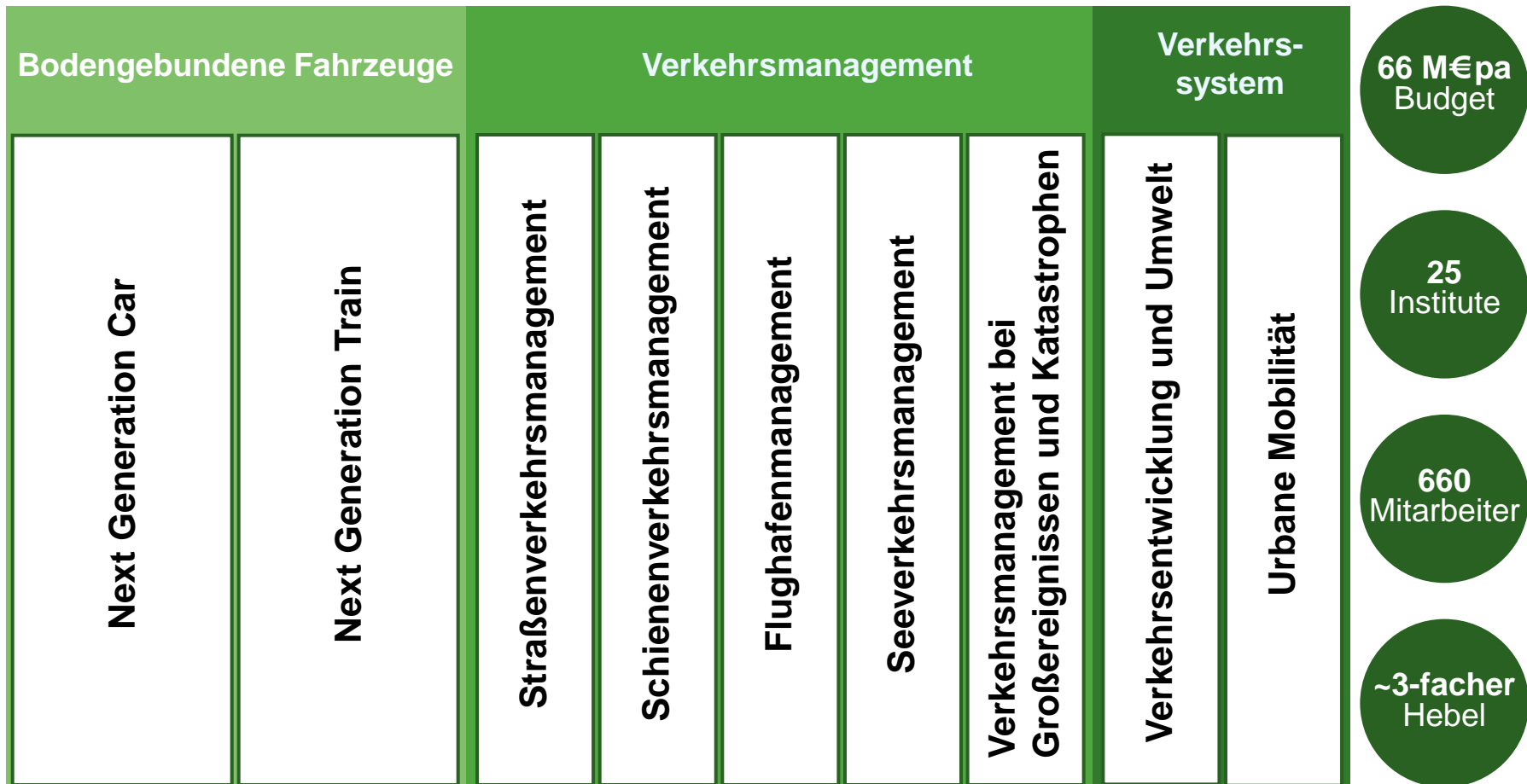
Gesamterträge 2015: 891 Mio.€
(Forschung, Betrieb, Management)

Raumfahrtmanagement

Projektträger



Portfolio des Forschungsbereichs Verkehr



Institut für Verkehrssystemtechnik

Sitz: Braunschweig, Berlin
Leitung: Prof. Dr.-Ing. Karsten Lemmer
Mitarbeiter: ca. 170 Mitarbeiter/innen aus
versch. wissenschaftl. Bereichen

Forschungsgebiete: Automotive
Bahnsysteme
Verkehrsmanagement
Intermodalität & ÖPNV

Aufgabenspektrum: Grundlagenforschung
Konzepte und Strategien
Prototypische Entwicklungen

Qualität: zertifiziert nach DIN EN ISO 9001 und VDA 6.2
sowie RailSiTe® gemäß ISO 17025



Branchen & Technologiefelder

Branchen

Automotive

Bahnsysteme

ÖPNV &
Intermodalität

Verkehrs-
management

Systemarchitekturen

Datenerfassung und Informationsgewinnung

Human Factors

Fahrzeugfunktionsentwicklung

Systemfunktionsentwicklung

Bewertung des Verkehrs

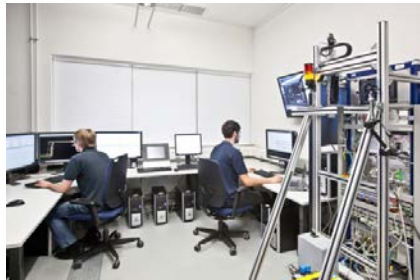
Testen

Technologiefelder



Großforschungsanlagen

Anwendungsplattform Intelligente Mobilität (AIM),
Simulationen, Testfahrzeuge, Mess-/Testeinrichtungen



Next Generation Train Projekt

Seit 2007, 11 DLR Institute, aktuelle Phase bis 2018

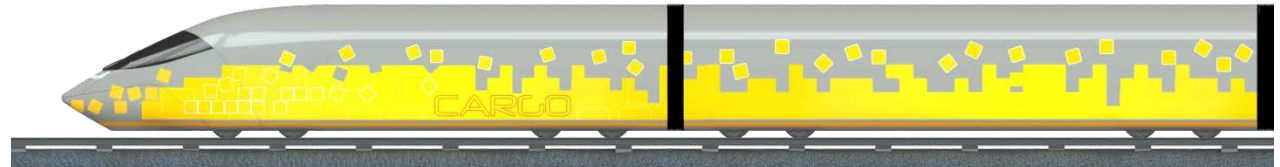
- Hochgeschwindigkeitszug (400 km/h, 202m, 800 Sitze, Doppelst., 16 MW)
NGT HST



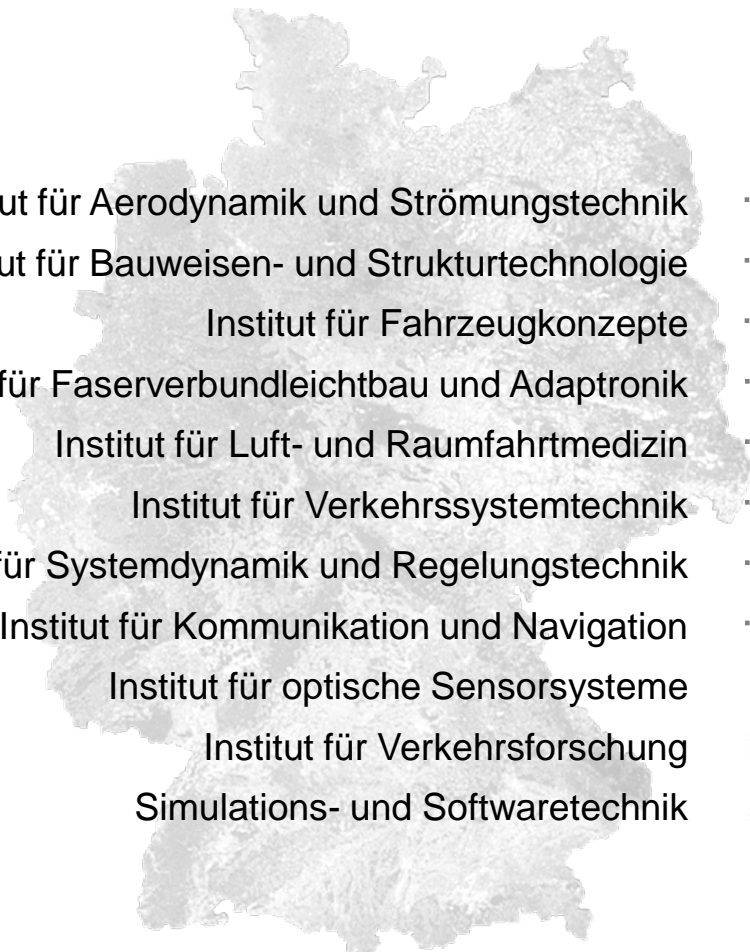
- Schneller Regionalzug (230 km/h, 120m, 480 Sitze, Doppelstock)
NGT LINK



- Hochgeschwindigkeits-Güterzug (bis 400 km/h, derzeit Design-Prozess)
NGT CARGO

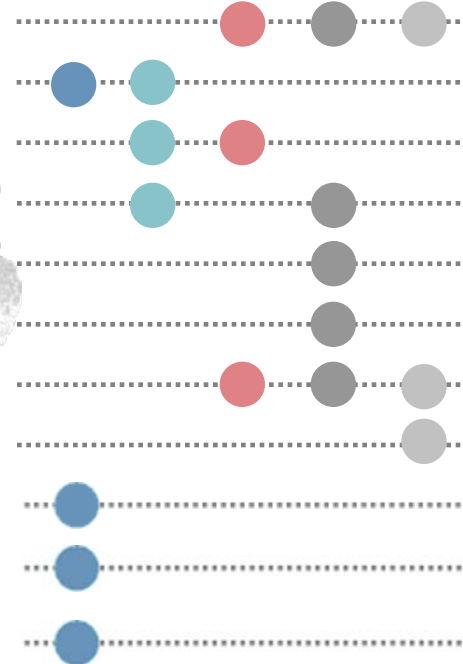


Elf beteiligte DLR-Institute



Institut für Aerodynamik und Strömungstechnik
 Institut für Bauweisen- und Strukturtechnologie
 Institut für Fahrzeugkonzepte
 Institut für Faserverbundleichtbau und Adaptronik
 Institut für Luft- und Raumfahrtmedizin
 Institut für Verkehrssystemtechnik
 Institut für Systemdynamik und Regelungstechnik
 Institut für Kommunikation und Navigation
 Institut für optische Sensorsysteme
 Institut für Verkehrsforschung
 Simulations- und Softwaretechnik

Innovative Fahrzeugkonzepte
 Werkstoffe, Verfahren und Strukturen
 Energiemanagement
 Lärm und Komfort
 Fahrsicherheit und Verschleiß



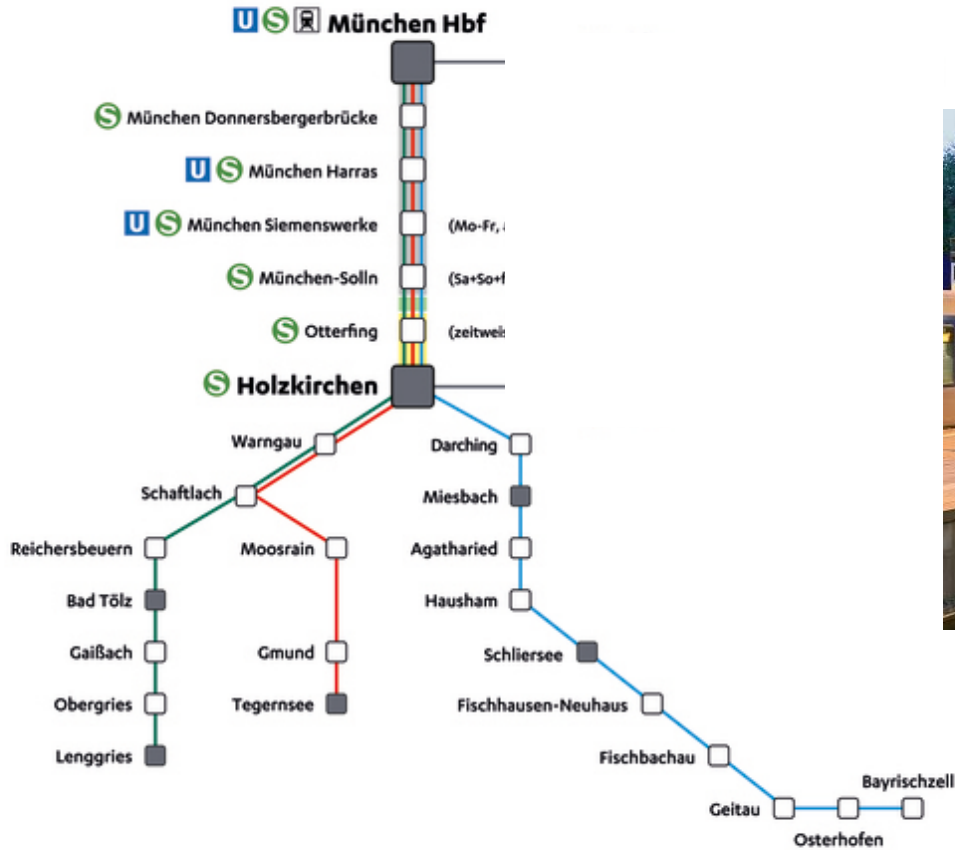
“Flügelung” von Zügen

- Flügel: Fahrplanmäßiges Aufteilen von Zügen, die dann auf unterschiedlichen Strecken weiterfahren
- Gegenaktion Kuppeln ist eigentlich nicht „Flügel“, der Begriff wird aber inzwischen für das Betriebsverfahren verwendet
- Beim Kuppeln und Entkuppeln muss ein Zugteil stehen
- Kurswagen: werden von einem Zug an anderen rangiert
- beim Flügel sind die Zugteile meist ähnlich groß und können selbst fahren
- Vorteile:
 - gebündelte Fahrt auf hochbelasteten Streckenabschnitten
 - Personaleinsparung
 - Bedarfsgerechter Fahrzeugeinsatz
- Nachteile:
 - Synchronisationszeiten
 - stärkere Anfälligkeit für Störungen



Flügelung von Zügen

Beispiel: Bayerische Oberlandbahn



Quelle: meridian-bob-brb.de

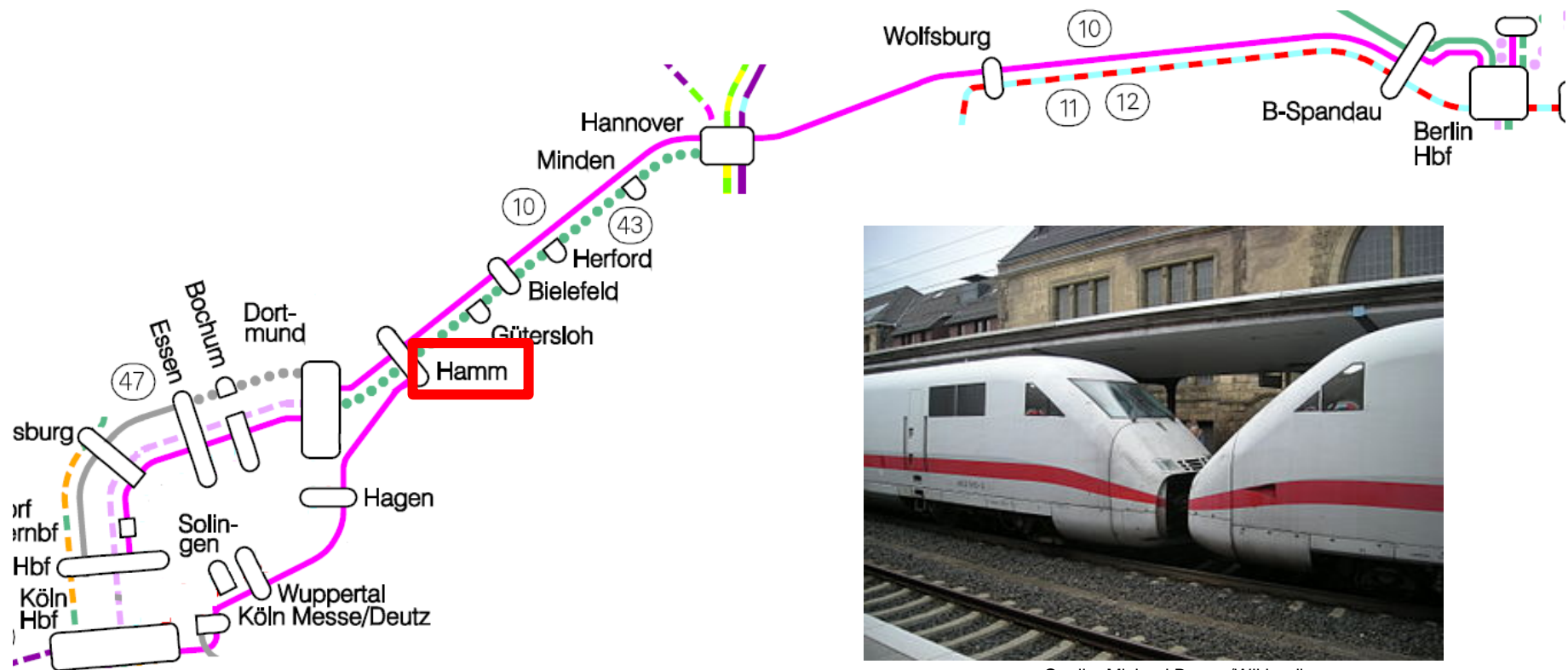


Quelle: Fuchsenthaler/Wikipedia



Flügelung von Zügen

Beispiel: ICE-Linie Berlin-Köln



Quelle: Michael Barera/Wikipedia

Quelle: DB Fernverkehr



Slip Coaching

- Praxis ist überliefert aus Großbritannien bis in die 1960er Jahre
- Letzte Waggon kuppeln während der Fahrt ab und rollen in die Station
- Nur sehr wenige Anwendungsfälle bei Schnellzügen aus London
- Vorteil: Großteil des Zuges durchfährt Station ohne Temporeduzierung
- Nachteil: Waggon muss schnell nach Ausstieg vom durchgehenden Hauptgleis rangiert werden



Quelle: www.robertdarlaston.co.uk/Railways50yr.htm



Einführung zum Dynamischen Flügeln

- Generelle Idee ist das Kuppeln und Trennen von Zügen während der Fahrt, nicht nur bei Halt im Bahnhof
 - Kupplung während der Fahrt → jeder Zugteil benötigt eigenen Antrieb
 - Nähere Betrachtung führte dazu, auf mechanische Kupplung zwischen den Teilzügen zu verzichten
 - Diese wäre deutlich anspruchsvoller als jetzige Kupplungen
 - Steuerungstechnik zum dichten Auffahren ist ohnehin nötig
- Generelles Fahren mit “fernwirkender Kupplung”



Einführung zum Dynamischen Flügeln

- Abstandshalteverfahren bei Eisenbahnen

Früher

- Fahren im Zeitabstand

Standard

- Fahren im Raumabstand

Voraussetzung
für dynamisches
Flügeln

- Fahren im absoluten Bremswegabstand
- Fahren im relativen Bremswegabstand



Einführung zum Dynamischen Flügeln

- Aber: es gibt das „Weichenproblem“:
 - Weichenstörungen können auftreten
 - Folgezug muss vor einer umzustellenden Weiche sicher zum Stehen kommen können
 - Sich kuppelnde Zugteile müssen vor der Einfädelweiche den absoluten Bremswegabstand einhalten
 - Gleiches gilt für sich trennende Zugteile vor der Trennungsweiche
 - Der betriebliche Nutzen des dynamischen Flügelns im Sinne einer Kapazitätserhöhung geht verloren

Daher → Zwei grundsätzliche Szenarien bei der weiteren Betrachtung:

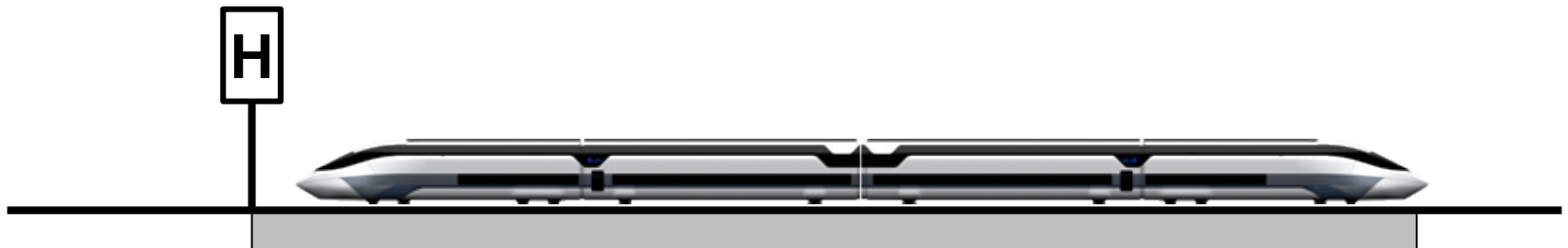
- Nutzung konventioneller Weichen
- Nutzung (noch nicht “erfundener”) passiver Weichen, die in jedem Zustand sicher überfahren werden können



Szenarien mit konventionellen Weichen

Modernes Slip Coaching

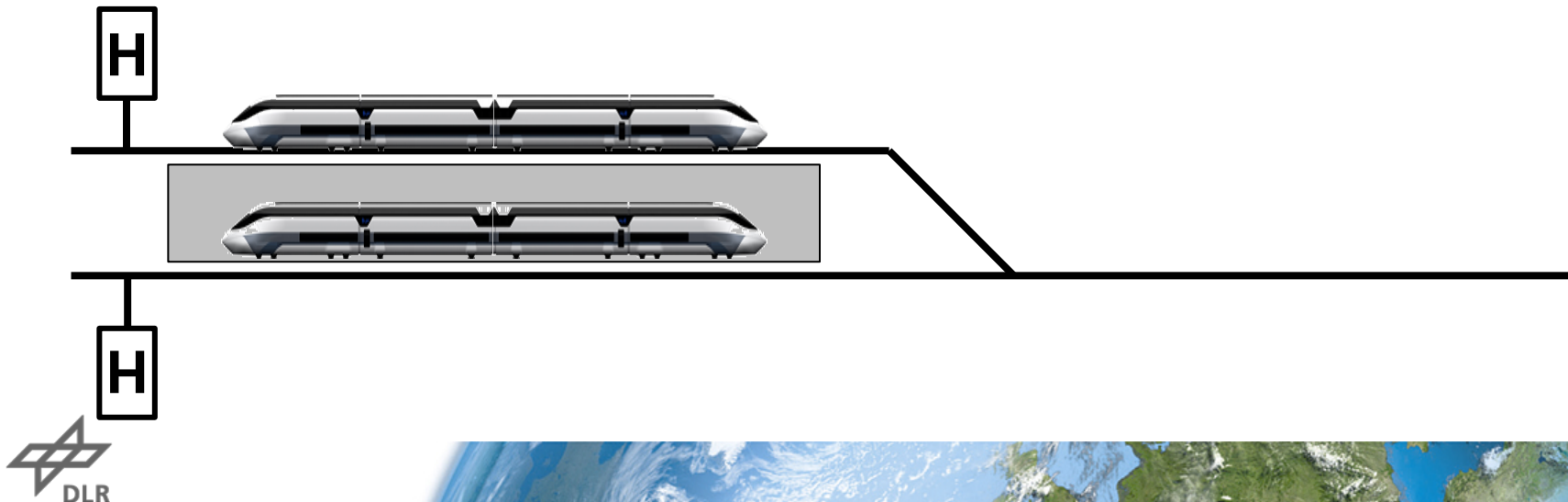
- Nutzung von Triebzügen
- Fahrzeiterparnis für durchfahrenden Teil
- Kein Weichenproblem, da per se beide Zugteile den gleichen Fahrweg haben (Durchfahrt am Bahnsteig)



Szenarien mit konventionellen Weichen

Aufteilung vor dem Bahnhof

- Zugteile werden bei der Einfahrt in den Bahnhof (vor der ersten Weiche) auf mehrere Bahnsteige aufgeteilt, bzw. bei der Ausfahrt aus dem Bahnhof (hinter der letzten Weiche) gekuppelt
- Kürzere Bahnsteige im Bahnhof möglich
- Kürzere Umsteigewege (und damit –zeiten) für Fahrgäste
- Ebenso: längere Züge möglich (z.B. 2 x 400 m)



Szenarienübersicht

Konventionelle Weichen

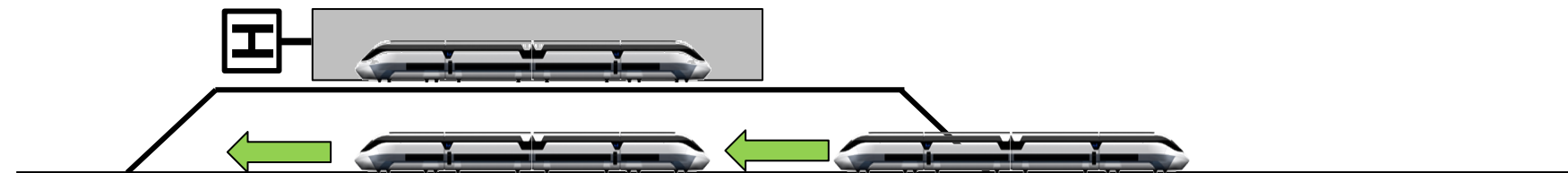
Slip Coaching Zug teilt sich während der Fahrt, hinterer Teil hält an



Verdopplungsszenario – Zugteile kuppeln nach „gemeinsamen Halt“



Doppelüberholung – Überholung durch zwei gekuppelte Züge



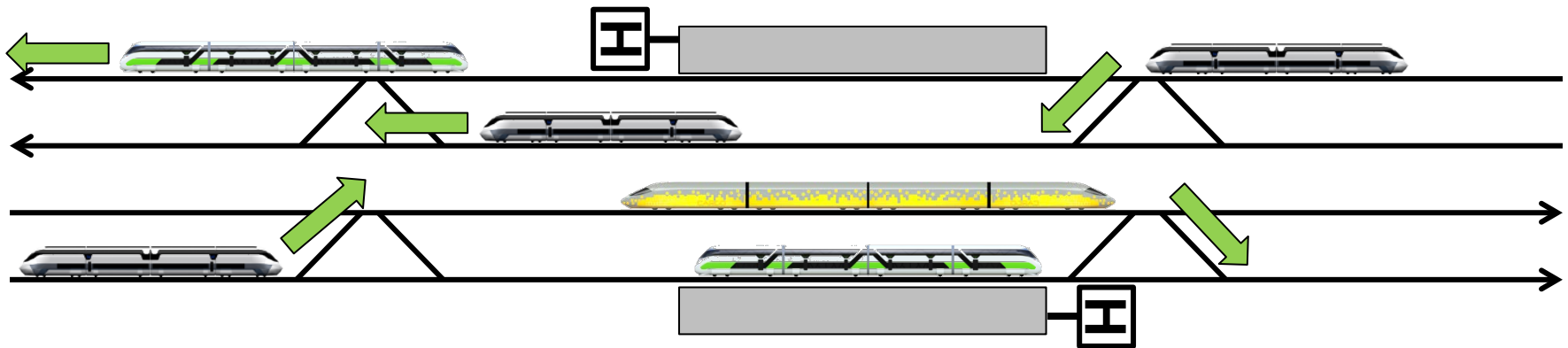
Szenarienübersicht

(noch nicht erfundene) passive Weiche

Kuppeln und Trennen an Streckenverzweigungen („Klassische Idee“)

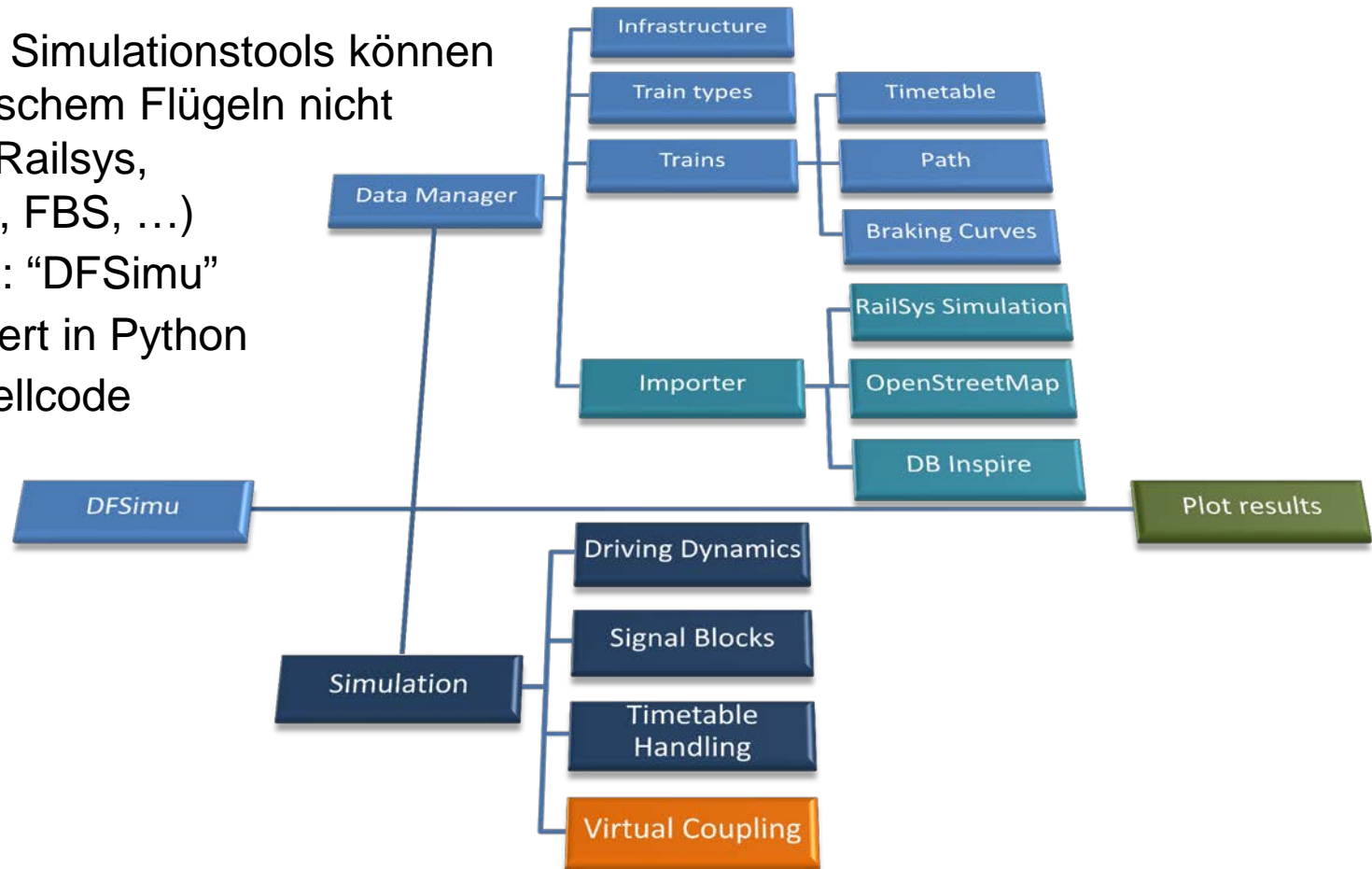


Autobahnszenario – dynamisches Überholen auf vier Gleisen



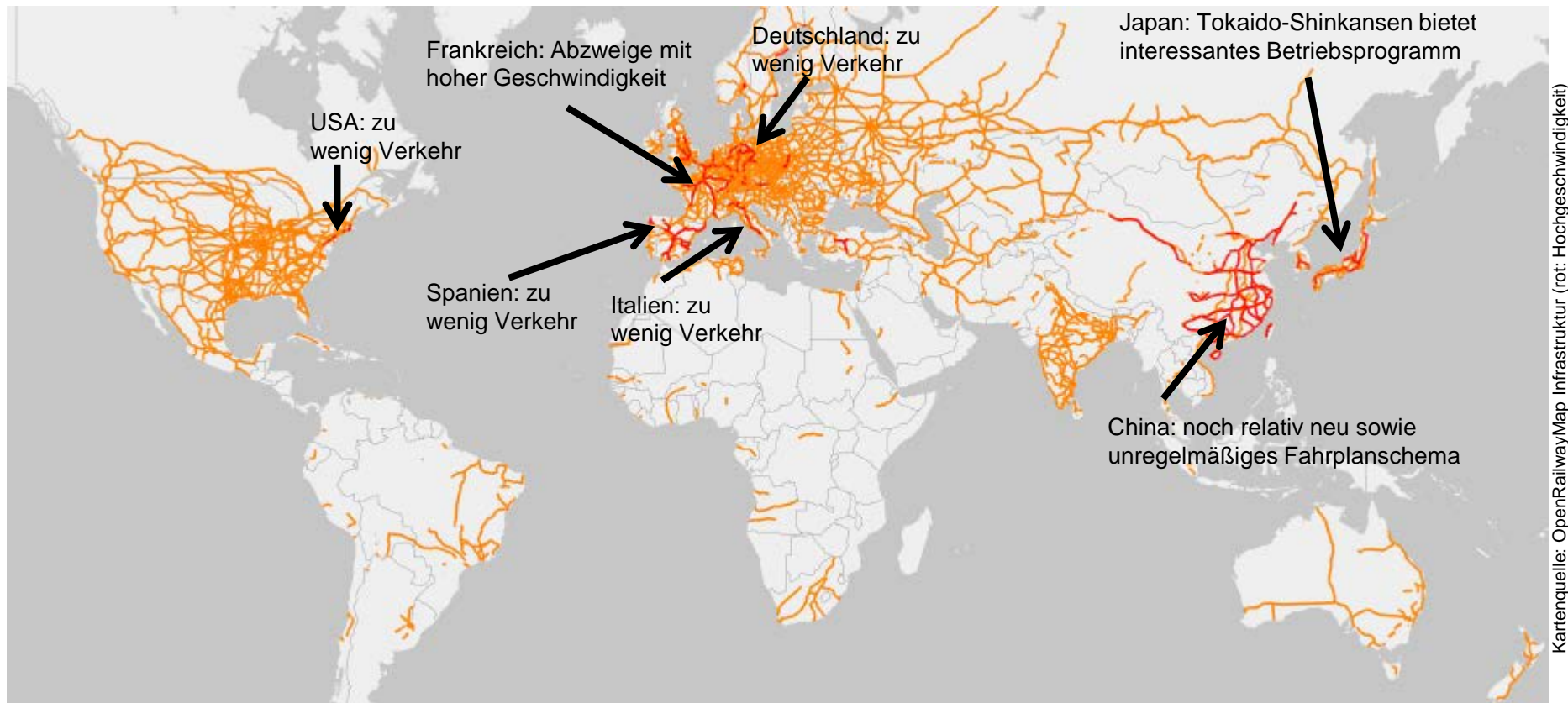
Simulationsumgebung

- Verfügbare Simulationstools können mit dynamischem Flügeln nicht umgehen (Railsys, OpenTrack, FBS, ...)
- Neues Tool: “DFSimu”
- Implementiert in Python
- 600 kB Quellcode



Suche nach einer Anwendungsstrecke

- Anforderungen: Hochgeschwindigkeitsverkehr, hohe Belastung, betriebliche Möglichkeiten, Bedarf nach mehr Beförderungskapazität



Shinkansen-Szenario

Tokaido-Strecke Tokio - Osaka



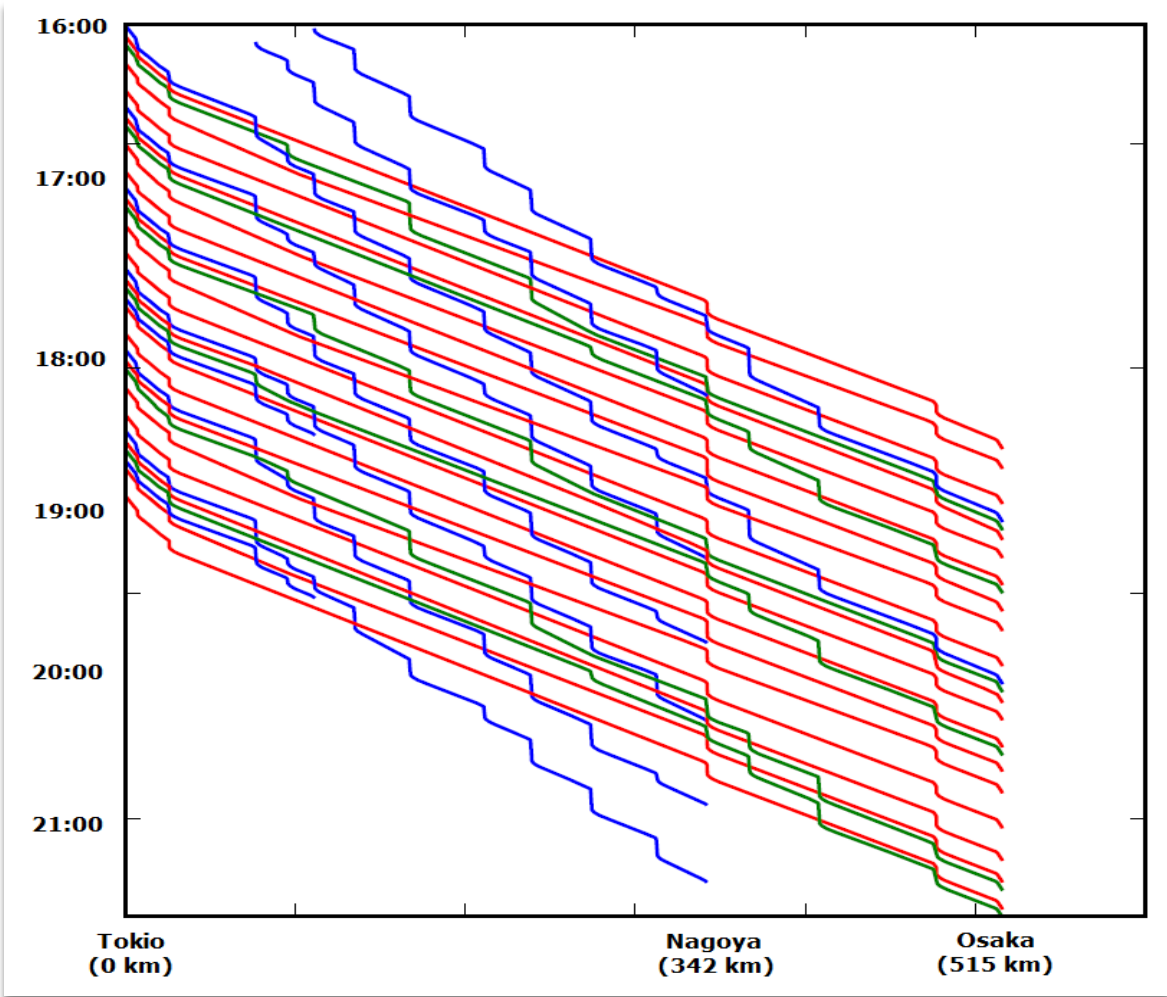
Pictures: Wikipedia

- Tokaido-Strecke ist die am stärksten belastete HGV-Strecke weltweit*
- Bedarf nach mehr Kapazität (welche der Chuo-Shinkansen bringen soll)
- Simulation mit Shinkansen 700 (405m, 708t, 270 km/h, 1323 Sitze)

* Neben einigen chinesischen Strecken



Bildfahrplan für den Verkehr ab Tokio am Nachmittag

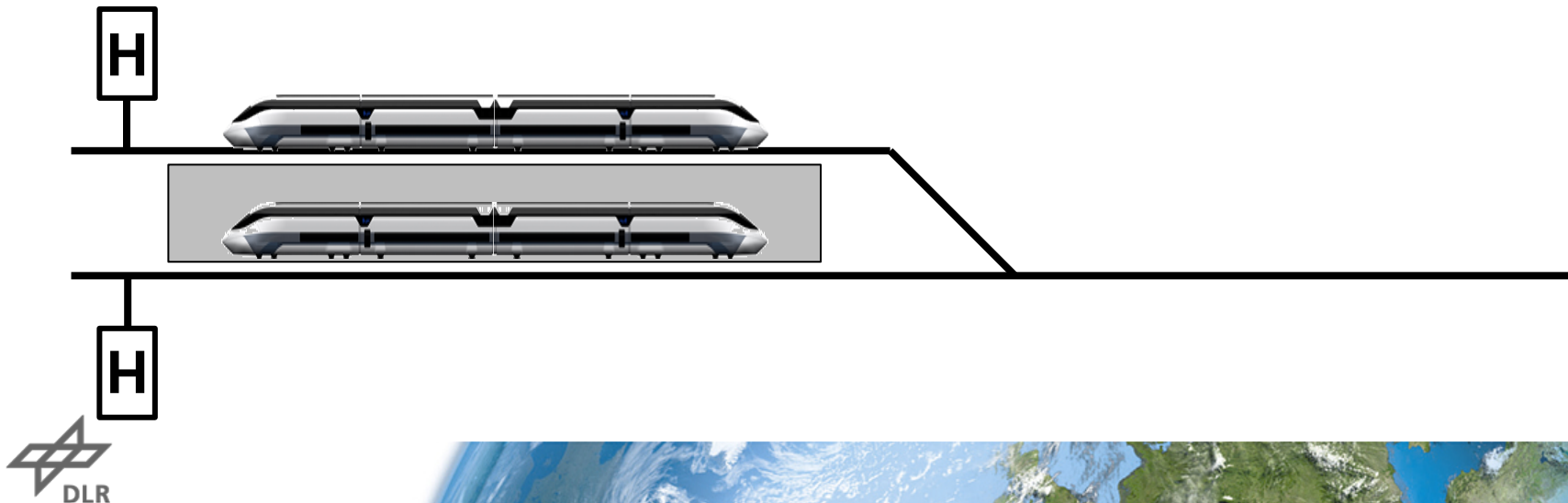


Nozomi (schnellste Züge)
Hikari (mehr Halte)
Kodama (alle Halte)



Shinkansen-Szenario 1: Nozomi-Verdopplung

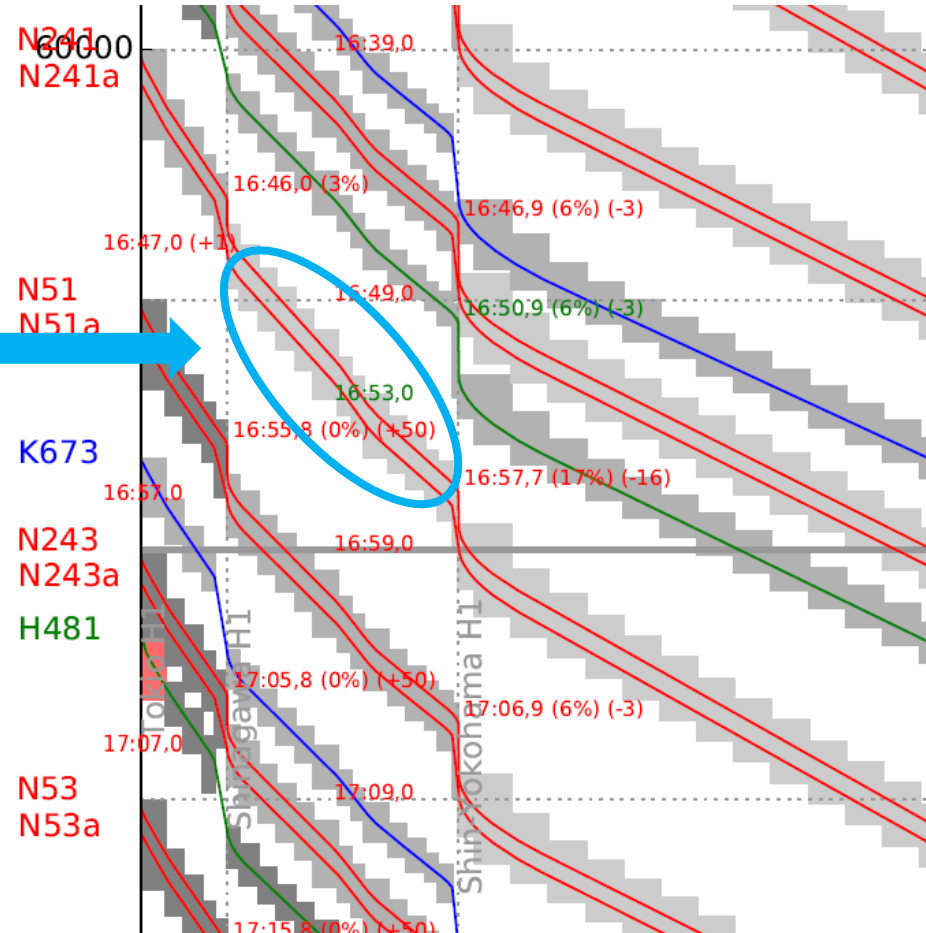
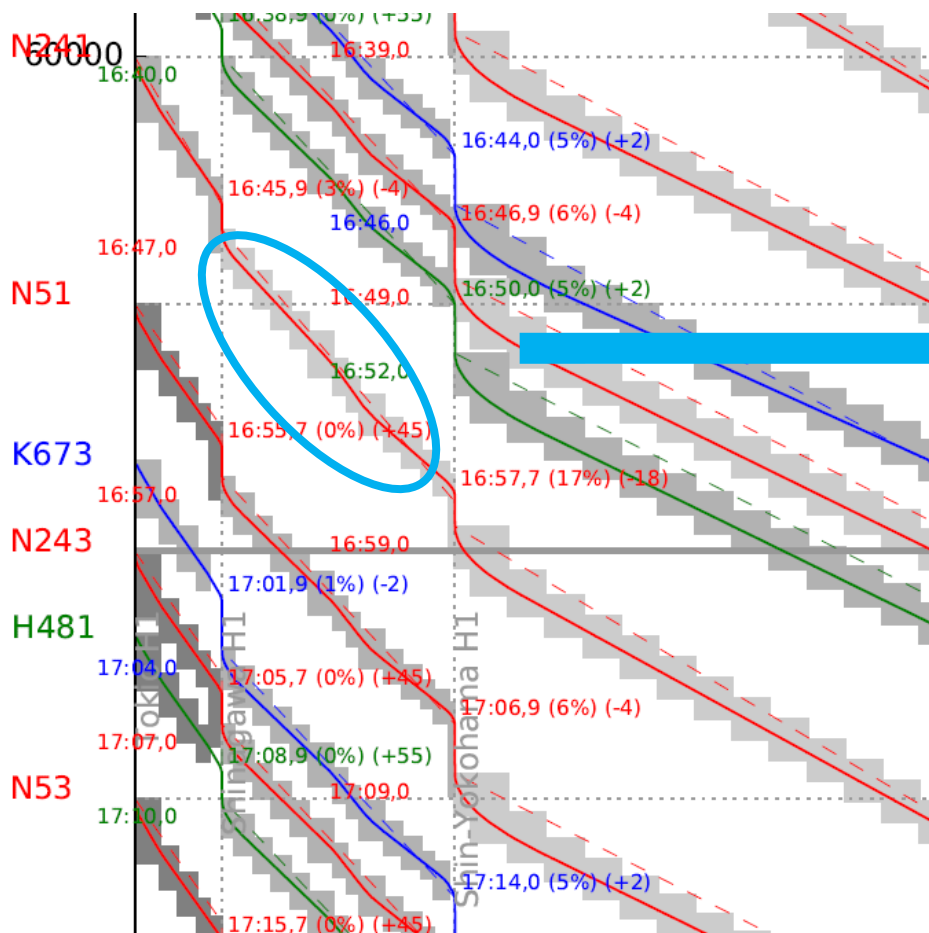
- Verdopplung der schnellen Nozomi-Züge
 - Führungszug fährt ab
 - Folgezug wartet, bis die Einfädelweiche gestellt ist
 - Fahrt im relativen Bremswegabstand
 - An der nächsten Station (wieder mit 2 Bahnsteigkanten) hält der Folgezug den absoluten Bremswegabstand vor der Trennungsweiche ein
 - Nutzung des Effekts, dass die Züge nahe der Bahnhöfe langsamer fahren
- Effekt: höhere Kapazität (zweimal 400m-Zug in „einer“ Fahrplantrasse)



Shinkansen-Szenario 1: Nozomi-Verdopplung

Vorher

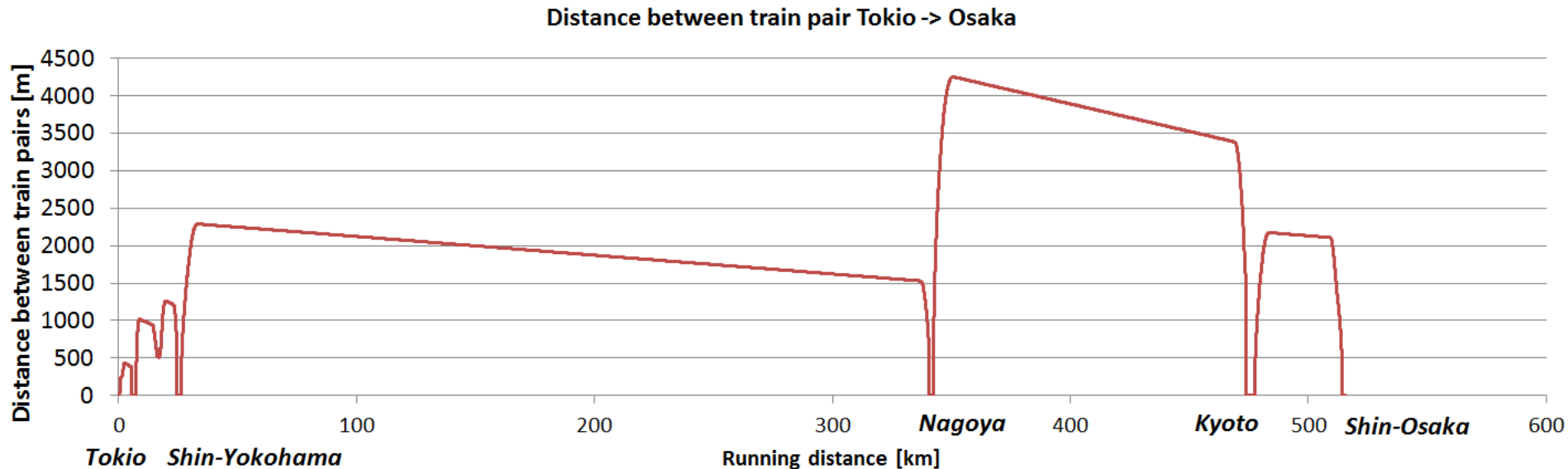
Nachher



Shinkansen-Szenario 1: Nozomi-Verdopplung

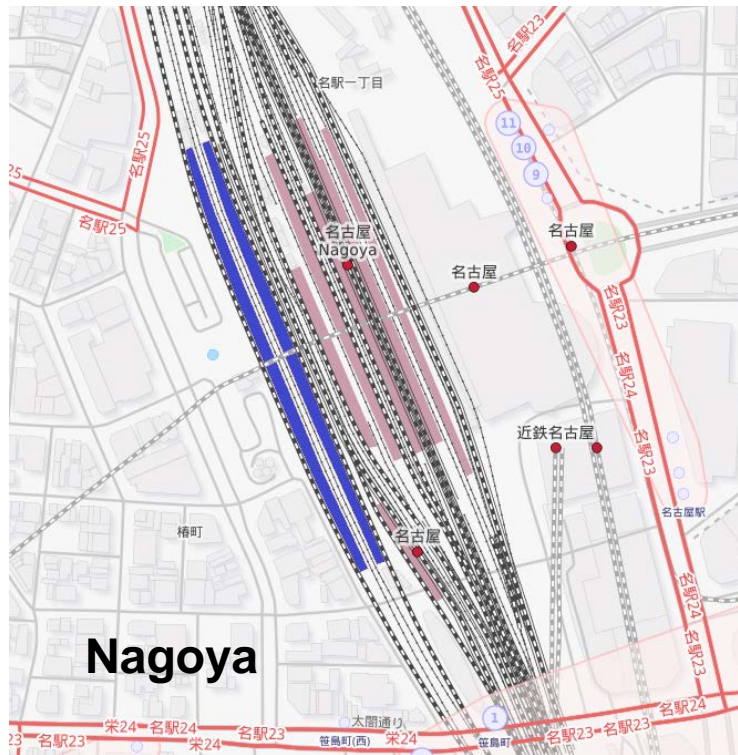
Abstand zwischen den Zügen

- Entstehender Abstand zwischen den Zügen hängt vom Abstand der Haltetafel zur Einfädelweiche ab (diese ist in Nagoya größer)
- Abstand verringert sich während der Fahrt → Folgezug berechnet sein Beharrungsgeschwindigkeit aufgrund des anderen Laufweges anders



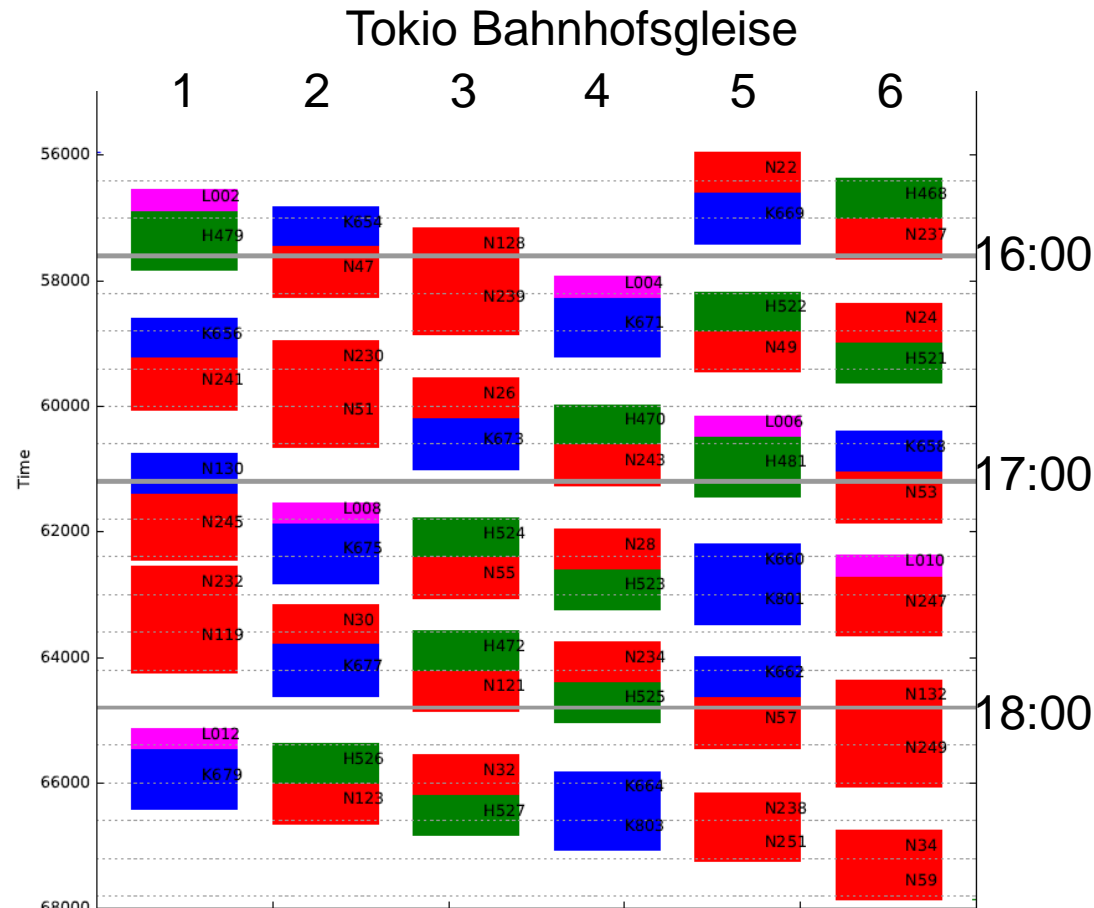
Bahnhöfe Nagoya und Tokio

- Shinkansen Bahnhöfe sind alle sehr beengt
- Nur 2 Gleise pro Richtung in Nagoya, von denen nur eines für endende Fahrten genutzt werden kann

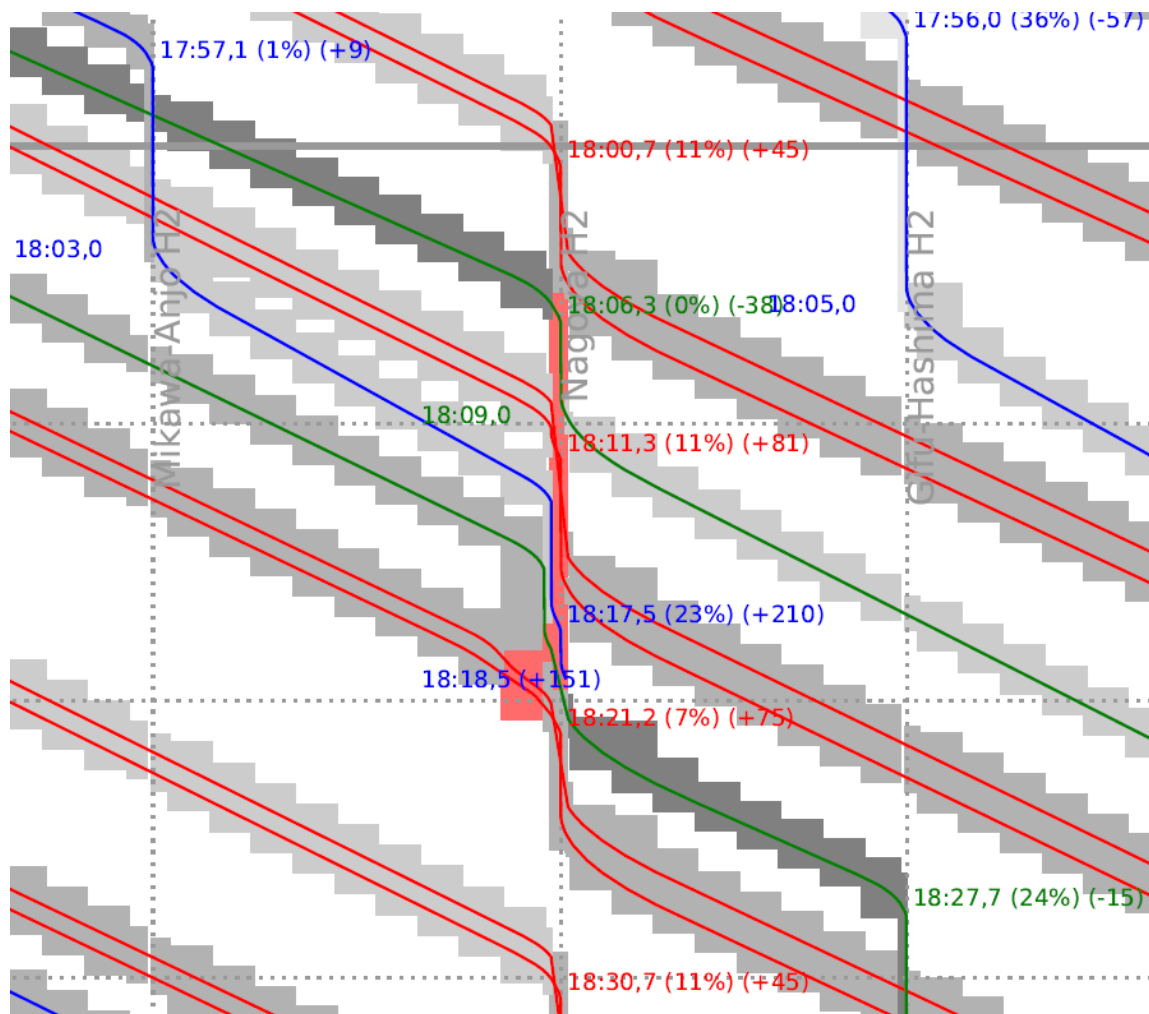


Aktuelle Gleisbelegung im Bahnhof Tokio

- 6 Gleise für den Tokaido-Shinkansen in Tokio
- Derzeit durchschnittlich 12 Minuten Wendezeit
- Gleise sind nur kurz frei
- Ablauf: Einfahrt Bahnhofsgleis / Türöffnung / Aussteigen / Reinigen / Sitze drehen / Einsteigen / Türschließung / Abfahrt / Bahnhofsgleis räumen
- Mit dynamischem Flügeln werden neue Gleise benötigt oder die Wendezeit muss noch kürzer werden



Shinkansen-Szenario 1 – Engpass Bahnhof Nagoya



Ergebnisse des Shinkansen-Szenarios 1

- Erhöhung der Kapazität von 15 auf 23 Tsd. Sitzplätze / Stunde / Richtung (!)
- Neue Bahnsteige notwendig in Nagoya und wahrscheinlich Tokio und Osaka

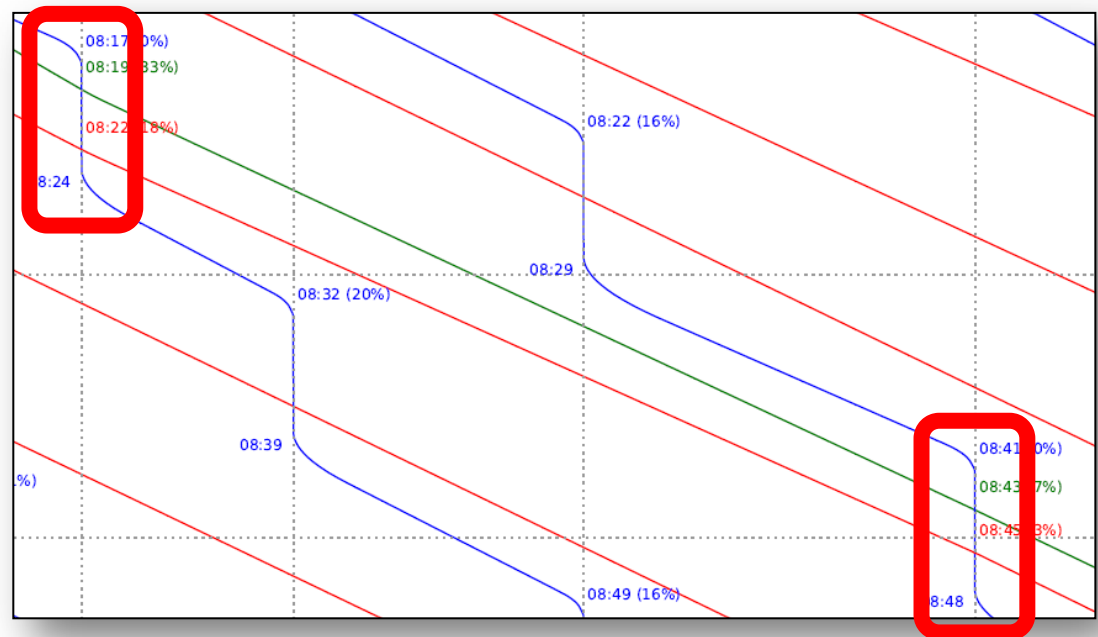
Fahrplan: Abfahrten in Tokio (16.00 – 19.00)	Original 2015 Fahrplan	Shinkansen-Szenario 1: Nozomi-Verdopplung
Nozomi-Züge / h	6	12
Hikari -Züge / h	2	2
Kodama-Züge / h	3	3
Zugabfahrten / h	11	17
Sitzplätze / Stunde / Richtung	15 000	23 000
Zug-Kilometer (alle)	15 494	24 780
Energiebedarf (alle)	271,1 MWh	426,1 MWh
Spezifischer Energiebedarf (alle)	17,5 kWh / train-km	17,2 kWh / train-km
Verspätungssumme Ankunft (alle)	0 min	242 min
Behinderungen (alle)	11	104

Nagoya braucht
neue Gleise

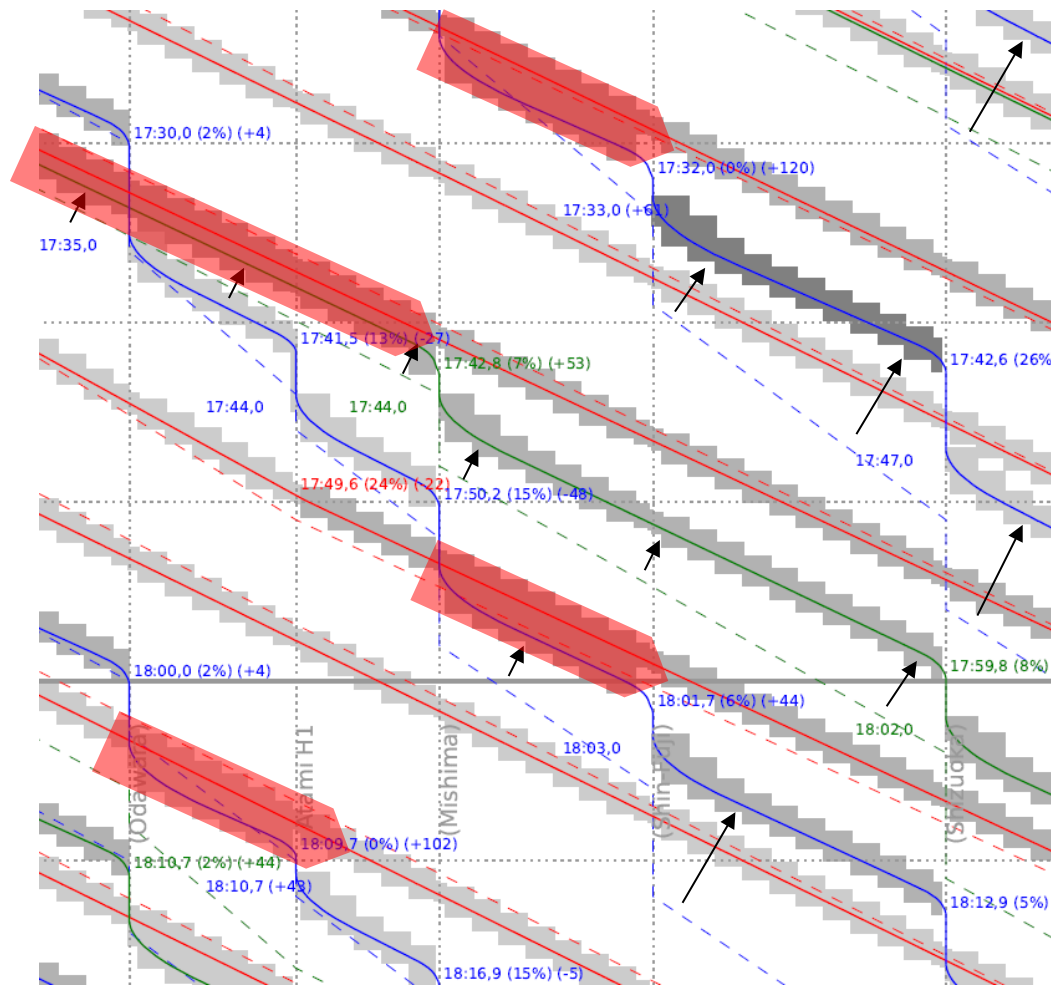


Shinkansen-Szenario 2: Überholung durch 2 Züge

- Kodama-Züge werden an jedem Halt überholt
- Manchmal sogar von zwei Zügen
- Wenn die Überholer im relativen Bremswegabstand fahren würden, kann die Haltezeit des Kodama verkürzt werden und damit natürlich auch die Reisezeit



Shinkansen-Szenario 2: Fahrplankompression



Shinkansen-Szenario 2: Fahrplankompression

- Randbedingungen:
 - Reduktion der Haltezeit von 3 auf 2 Minuten (1 min an kleinen Bahnhöfen)
 - Reduktion der Fahrplanreserve auf 3% für Kodama und Hikari
- Ergebnisse erfüllen nicht die Erwartungen
- Gründe:
 - Viele Halte der Hikari-Züge verhindern Kapazitätsgewinne auf der Strecke
 - Bahnhof Atami hat Bahnsteigkante direkt am Durchgangsgleis
 - Kodama-Züge noch eine Station weiter zu bekommen vor der Überholung geht nur unter Verletzung der Mindesthalte- und Mindestreservezeiten
 - Engpass Nagoya verhindert Einlegen zusätzlicher Züge
- Nutzen:
 - Fahrzeitverkürzung für 1/3 der Hikari- und Kodama-Züge zwischen Tokio und Osaka von bis zu 20 Minuten



Messfahrten des DLR-Instituts für Kommunikation und Navigation

- Test der Kommunikation in und zwischen schnell fahrenden Zügen im April 2016
- Testfahrten während der nächtlichen Betriebspause auf der Strecke Rom-Neapel
- Installation von Kommunikationseinrichtungen in zwei Frecciarossa-Zügen
- Übertragung ohne Kabel von Waggon zu Waggon
- Zug-zu-Zug-Kommunikation anhand von Überholmanövern auf zwei Gleisen



Bilder: DLR, April 2016



Fazit und Ausblick

- Nutzen des dynamischen Flügelns ist leider begrenzt aufgrund der Notwendigkeit, **vor Weichen den absoluten Bremswegabstand** einzuhalten
- Dynamisches Flügeln im Betrieb sieht eher wie Fahren im relativen Bremswegabstand aus als wie die Fahrt gekuppelter Züge
- Erhöhung der Streckenkapazität ist möglich durch Verdopplung schneller Züge
 - Zwei freie Bahnsteiggleise an jedem Halt notwendig
 - Zusätzliche Bahnsteiggleise an großen Bahnhöfen erforderlich
- Erhöhung der Kapazität auf der Tokaido-Strecke von **15 000 auf 23 000 Fahrgäste / Stunde / Richtung**

Ausblick:

- Analyse des Slip-Coaching-Szenarios auf Hochgeschwindigkeitsstrecken (z.B. auch in Deutschland für Bahnhöfe wie Göttingen, Kassel und Fulda)
- Analyse der Autobahn-Szenarios unter Vernachlässigung des Weichenproblems



Vielen Dank



Tilo Schumann

DLR Institut für Verkehrssystemtechnik, Braunschweig

Email: tilo.schumann@dlr.de Tel: +49 531 295 3506

